

최신 기상 관측 자료 기반 날씨 예보 보정에 따른 태양광 발전량 예측 방법

박강구, 강동윤, 안서연
주식회사 케이티

{kanggu.park, dongyoon.kang, seoyeon.ahn} @kt.com

Photovoltaic power generation forecasting scheme by weather forecast correction based on the latest observation data

Kanggu Park, Dongyoon Kang, Seoyeon Ahn
KT Corporation

요약

신재생 에너지원 예측의 특성과 같이 태양광 발전량 예측 성능은 입력 변수로 사용되는 날씨 예보 데이터의 품질에 크게 의존한다. 날씨 예보는 계통적 오차나 모델 초기값의 오차 등 다양한 이유로 실제 대기 상태와의 오차가 발생한다. 본 연구에서는 날씨 예보의 오차를 줄이기 위해 현재 관측치의 예보 오차와 미래 보정 계수를 추정하는 선형 회귀 모델을 통한 예보 데이터 보정 방법을 제안한다. 보정된 데이터를 입력 변수로 활용한 결과 태양광 발전량 예측 성능이 향상됨을 확인했다. 이 연구는 정확한 날씨 예보의 중요성을 강조하며, 최신 관측 자료를 활용한 예보 오차를 줄이는 방법을 제시함으로써 태양광 에너지 예측의 신뢰성을 높이는 데 기여하고자 한다.

I. 서론

전 세계적으로 기후 변화에 대응하기 위한 노력의 일환으로 탄소중립 목표가 설정되고 있다. 한국은 2050년까지 탄소 중립을 달성하기 위해 적극적인 정책을 추진하고 있으며, 이는 재생 가능 에너지의 비중을 높이고 에너지 효율성을 향상시키기 위한 다양한 조치를 포함하고 있다. 또한, 한국전력공사는 지속적인 적자 문제에 직면해 있으며, 이는 에너지 시장의 구조적 문제와 에너지 공급의 불확실성에서 비롯되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 신재생 에너지의 안정적이고 효율적인 공급을 촉진하기 위한 신재생 에너지의 도매 입찰 제도가 확대되고 있다. 신재생 에너지원 중 하나인 태양광 발전의 효율성을 극대화하고 에너지 공급의 신뢰성을 높이기 위해서는 정확한 발전량 예측이 필요하다. 발전량 예측의 정확도는 예측 모델 자체 성능도 중요하지만 가장 중요한 부분은 입력되는 날씨 예보 데이터의 품질에 달려 있다. [1]과 같이 예보 가이던스를 수정하는 MOS (Model output statistics) 방법에 대해서 많은 연구가 이뤄지고 있다. 그러나 이러한 MOS 기법에도 불구하고 기상 예보 데이터는 예측 오차를 동반하며, 이는 태양광 발전량 예측의 신뢰성을 저하시킨다.

본 논문에서는 최신 관측자료를 활용하여 날씨 예보 오차를 줄이고, 이를 통해 태양광 발전량 예측 성능을 향상시키는 방법을 제안한다. 특히, 현재 관측치의 예보 오차와 미래 보정 계수를 추정하는 선형 회귀 모델을 통해 예보 데이터를 보정하는 접근법을 다루고 있다. [2] 연구에서 제안한 방식과 비슷한 접근법이지만 본 논문에서는 현재 시행되고 있는 재생에너지 도매 입찰 제도에서 활용 가능한 형태로 로직을 설계했고 최신 관측 자료 기반 날씨 예보 보정이 실제 태양광 발전 예측 시스템 성능에 미치는 효과를 분석했다.

II. 본론

II.1. 날씨 예보 보정 로직

기상청 기상예보는 수치예보 모델의 결과를 예보관의 이론과 경험을 반영하여 최종 결과값을 만들어내는데, 이 과정에서 수치 예보의 계통적 오차나 사람의 주관적 의견이 개입되면서 생기는 오차 등이 발생한다. 발전량 예측 모델은 날씨 예보를 기반으로 예측 값을 생성하기 때문에 GIGO(garbage in, garbage out) 현상이 뚜렷하다. 발전량 예측 모델의 성능을 높이는 데에 GIGO 현상을 최소화하기 위해 예보 데이터 보정이 필요하다.

현재 날씨를 과거 상태에 영향을 받아서 결정되고 미래 날씨를 현재 날씨에 기인하기 때문에 과거 예보 오차와 현재 예보 오차가 상관관계가 있고, 현재 예보 오차와 미래 예보 오차가 상관관계가 있다. 따라서, 기상 예보 데이터를 최신 관측 정보와 상관성을 기반으로 보정할 수 있다.

본 논문에서는 재생에너지 도매 입찰 제도에서 발전량 예측 시점을 고려하여 로직을 설계했다. 도매 입찰 제도에서 입찰은 최소 75분 전까지 가능하므로 예측 값 생성 시점은 입찰 2시간 전으로 설정하였다.

$$r_t = o_t/w_t \quad (1)$$

$$d_t = \sum_{i=3}^L o_{t-i} - w_{t-i} \quad (2)$$

수식 (1)과 (2)에서 o_t 와 w_t 는 각각 기상 관측 자료와 기상 예보를 의미한다. 발전량 예측 예보 보정을 위한 계수(r_t)와 과거 2시간부터 L 시간 전까지 예보 오차의 합(d_t)을 정의하였다.

$$\hat{r}_t = a_0 d_t \quad (3)$$

수식 (3)과 같이 예보 보정 계수(\hat{r}_t)를 추정하기 위해서 선형 회귀 모델을 설계했다. 이는 과거에 과소/과대 예보가 됐다면 미래에도 과소/과대 예보할 가능성이 크기

때문에 그만큼 보정해준다는 의미이다. 그림 1 은 특정 발전소 지역의 6 개월간 온/습도의 보정 계수(r_t)와 오차 합(d_t)간 관계를 나타낸 것인데 선형 상관관계 특성을 가지고 있는 것을 알 수 있다.

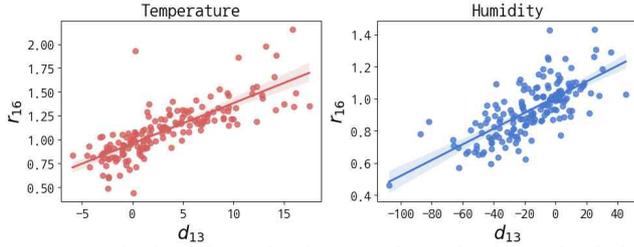


그림 1. 온/습도의 보정 계수(r_t)와 오차 합(d_t)간 관계 ($t=16, L=4$)

본 논문에서는 단기 예보의 오차가 큰 편은 아니고 기상 데이터 종류와 관측 지점마다 특성이 다르기 때문에 동일 조건의 모든 구간에서 오차 보정이 아닌 특정 파라미터를 정의한 오차 보정 방법을 제안한다. 계수 추정의 학습 기간(P), 보정 계수 추정을 위한 과거 시간 구간(L), 보정을 수행하기 위한 예보 오차범위(R) 기준에 대한 파라미터가 있다.

$$\hat{w}_t = \hat{r}_t w_t, \quad \text{where } |d_t| > R \quad (4)$$

수식 4 는 예보 오차범위(R) 밖인 경우에 수식 3 의 선형 회귀 모델에서 추정한 보정 계수(\hat{r}_t)와 해당 시간에 활용할 수 있는 최신 기상 예보(w_t)를 기반으로 최종 날씨 보정 값(\hat{w}_t)을 산출하는 수식이다.

II.2. 보정 로직 평가

기상 관측과 예보 데이터를 활용하여 보정 효과를 분석했다. 발전량 데이터는 전국에서 무작위로 추출한 63 개 태양광 발전소를 대상으로 선정했다. 2024 년 1 월 1 일부터 4 월 30 일, 4 개월에 대해서 평가했고, 학습 데이터는 2023 년 11 월 1 일부터 12 월 31 일까지 구성하고 평가가 끝난 일자는 기존 학습 데이터 셋에 누적하여 데이터 셋을 구성하였다. 파라미터 P, L, R 에 대한 최적 값은 각 기상 변수마다 grid search 방식을 통해 찾았다. 기상 예보 데이터 중 태양광 발전량 예측에 중요도가 높은 온도, 습도, 일사량[3]에 대해서 보정 대상으로 선정했다.

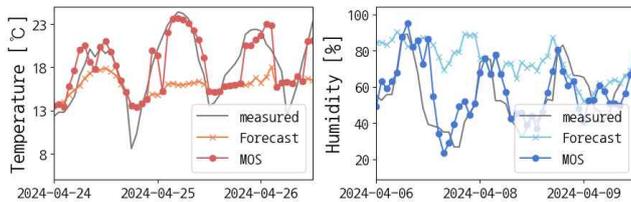


그림 2. 기상 관측, 예보, MOS 보정 결과

$$MAE_d = \frac{1}{24} \sum_{t=1}^{24} |y_t - \hat{y}_t| \quad (5)$$

본 논문에서 평가지표로 수식 5 와 같이 MAE 를 활용했다. d 일에 y_t 와 \hat{y}_t 는 각각 t 시간의 실제 값과 예측 값이다. 그림 2 에서 기상 예보는 Forecast, 예보 데이터를 활용한 보정 모델은 MOS 로 명명하고 이를 비교한다. 온도, 습도에 경우 과거 예보 오차가 클수록 전체적으로 보정이 많이 되는 것을 볼 수 있다. 반면, 일사량은 예보 정확도가 상대적으로 높은 편으로 보정

포인트가 많지 않다. 보정 오차는 표 1 과 같이 온도, 습도, 일사량에서 모두 개선됨을 보였고 표준편차도 줄어들면서 오차 변동성에 대한 부분도 개선되었다.

표 1. 기상 예보 보정 결과

	MAE (평균)		MAE (표준편차)	
	Forecast	MOS	Forecast	MOS
온도[°C]	2.41	2.09	2.14	1.9
습도[%]	13.24	7.54	10.89	6.52
일사량[kJ/m ²]	246.53	245.12	334.05	328.35

기상 예보 보정이 발전량 예측에 미치는 효과를 평가하기 위해 태양광 발전량 예측 모델로 트리 계열인 extra-trees regressor 와 random forest 모델을 활용했다. 표 2 에서 표기한 Forecast 는 기상 예보 자료 중 온도, 습도, 일사량, 강수량, 운량을 입력으로 한 예측 모델이고, MOS 는 Forecast 모델의 입력에 MOS 보정 결과를 추가한 것으로 보정 변수가 예측 모델의 성능에 미치는 영향을 분석하기 위해 비교하였다. 두 개의 기계학습 모델 MAE 의 평균과 표준편차 모두 개선되었고 개별 사업장 별로도 개선 효과가 있음을 확인했다.

표 2. 발전량 예측 결과

	MAE (평균)		MAE (표준편차)	
	Forecast	MOS	Forecast	MOS
Extra trees	49.55	46.92	108.9	105.89
Random forest	48.01	44.94	108.97	104.78

III. 결론

본 논문에서는 최신 관측 자료 기반으로 예보 데이터를 특정 조건에서 보정하고, 이를 태양광 발전량 예측 모델에 입력 변수로 활용하여 실효성을 검증했다. 관측 자료를 활용할 수 있는 시점이 수집 이후이기 때문에 장기, 중기 예측보다 수시간 전 예측과 같이 실시간 예측 모델에서 활용이 가능하다. 제안한 방식은 재생 에너지 도매 입찰 제도에서 입찰을 위한 실시간 예측 값 생성에 활용될 수 있다.

참고 문헌

- [1] Jeffrey A. Baars and Clifford F. Mass, "Performance of National Weather Service Forecasts Compared to Operational, Consensus, and Weighted Model Output Statistics", Weather and Forecasting, Volume 20: Issue 6, 1034-1047
- [2] 서영경, 이정환, 서동일, 황동익, 함동주, 김용상, "최신 관측자료를 이용한 예보 오차 보정 기법 개발 및 적용" 한국기상학회 학술대회 논문집, pp. 293-294.
- [3] A. Lahouar, A. Mejri and J. Ben Hadj Slama, "Importance based selection method for day-ahead photovoltaic power forecast using random forests", 2017 International Conference on Green Energy Conversion Systems (GECS), Hammamet, Tunisia, 2017, pp. 1-7.